

Универзитет у Београду  
Електротехнички факултет

## НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидаткиње Душке Клеут

Одлуком бр. 5001/07-3 од 17.11.2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидаткиње Душке Клеут под насловом

„Раманска спектроскопија високодефектних угљеничних наноматеријала“

После прегледа достављене докторске дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидаткињом, Комисија је сачинила следећи

### ИЗВЕШТАЈ

#### 1. УВОД

##### 1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

На основу одлуке Наставно–научног већа бр. 2944/2 од 11.10.2007. године, Студијски програм кандидаткиња је започела у пролећном семестру школске 2007/2008, па се рок за завршетак докторских академских студија рачуна од почетка тог семестра, сагласно Статуту Универзитета у Београду и Статуту Електротехничког факултета. По истеку законског рока за завршетак докторских академских студија, на захтев кандидаткиње, одобрено је продужење рока за завршетак ових студија за још два семестра, сагласно члану 92. став 4 Статута Универзитета у Београду, као и додатно продужење за годину дана на основу Одлуке бр. 24-06/09-2007/5001.

Наставно–научно веће Електротехничког факултета на седници одржаној 24.02.2015. године размотрило је предложену тему и закључило да је тема подобна за израду докторске дисертације. Тема доктората прихваћена је затим на Универзитету у Београду, на седници Већа научних области техничких наука у Београду, 06.04.2015. године, одлука број: 61206-1405/2-15ЛД.

Докторска дисертација је поднета Наставно–научном већу Електротехничког факултета на преглед и оцену 20.10.2015. године.

##### 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација обухвата истраживања из области Савремених материјала и технологија, конкретно из подобласти наноматеријала, која се проучава у оквиру модула Нуклерна, медицинска и еколошка техника, на докторским академским студијама Електротехничког факултета у Београду. Осим тога, у оквиру истраживања, проучаван је и ефекат гама зрачења на испитиване материјале, што је тематски садржај више предмета са модула Нуклерна, медицинска и еколошка техника.

Ментори, проф. др Дејан Раковић и др Зоран Марковић, ангажовани су на предмету „Биофизичке методе у наномедицини“ у оквиру модула Нуклерна, медицинска и еколошка техника, а проф. др Дејан Раковић је ангажован и на предмету „Физика, технологија и карактеризација биоматеријала“, уско везаним за истраживања на докторској дисертацији. Др. Зоран Марковић, научни саветник, запослен је у Институту за нуклеарне науке „Винча“ у оквиру групе за физику и хемију угљеничних наноматеријала, у оквиру које је урађено истраживање обухваћено докторском дисертацијом.

### 1.3. Биографски подаци о кандидату

Душка Клеут рођена је у Београду 1981. године. Завршила је Прву београдску гимназију 2000. године и дипломирала је на Електротехничком факултету Универзитета у Београду 2006. године, на Смеру за медицинску и нуклеарну технику, Одсека за физичку електронику, са темом дипломског рада „Генерисање синглетног кисеоника од стране фулерена“, под руководством проф. др Дејана Раковића.

Од 2008. године, Душка Клеут је била стипендиста Министарства науке и технолошког развоја РС да би од септембра 2009. године била укључена на пројекат који финансира Министарство. Од 2009. године запослена је у Институту за нуклеарне науке Винча, у Лабораторији за радијациону физику и хемију. Тренутно је ангажована на пројекту „Танки слојеви једнослојних угљеничних нанотуба и графена за примену у електроници“ који је финансиран од стране Министарства просвете, науке и технолошког развоја РС. Била је на тромесечном боравку у Институту за биофизику, Универзитета у Линцу, Аустрија, током кога је радила на микроскопу атомске силе намењеном снимању биолошких узорака. Докторске студије на Електротехничком факултету, Универзитета у Београду, уписала је 2008. године на модулу Нуклерна, медицинска и еколошка техника, где је са одличним успехом положила све испите и завршила све обавезе.

У досадашњем раду има 15 објављених радова у међународним часописима, од чега 7 радова у часописима категорије М21, 5 радова у категорији М22, 2 рада у категорији М23 и једно поглавље у књизи у категорији М14. У оквиру теме којом се бави дисертација „Раманска спектроскопија високодефектних угљеничних наноматеријала“ до сада су урађена три рада која су објављена у међународним часописима и једно поглавље у тематском зборнику од међународног значаја. На три рада објављена у оквиру докторске дисертације је први аутор.

Досадашњи научно-истраживачки рад Душке Клеут је усмерен на испитивање структурних, електричних и оптичких особина угљеничних наночестица (фулерена, нанотуба и графена). У ту сврху посебно су коришћене две технике карактеризације: микроскопија атомских сила и раманска спектроскопија.

## **2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ**

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација под називом „Раманска спектроскопија високодефектних угљеничних наноматеријала“ написана је на 94 стране, састављена је од 7 поглавља, са 48 слика, 12 табела и 158 библиографских референци. Након поглавља обухваћених дисертацијом (1-7) и референци (8) у текст су укључени и научна биографија (9) и прилози (10) са изјавама по захтеву Универзитета (укупно 107 страна). Угљенични наноматеријали су у жижи научне јавности већ десетак година, а дисертација се бави карактеризацијом раманском спектроскопијом две веома различите врсте, до сада неанализираних, слојева угљеничних наноматеријала.

### 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Прво поглавље „Увод“ описује значај раманске спектроскопије у науци о материјалима, као и основе угљеничних наноматеријала обухваћених овим истраживањем. Изложена је проблематика анализирана у дисертацији.

Друго поглавље „Теоријске основе“ описује карактеристике угљеничних наноматеријала истраживаних у дисертацији. Приказани су структурна, физичка и хемијска својства, синтеза и потенцијалне примене угљеничних нанотуба, графена, графенских квантних тачки и криогелова, као и утицај гама зрачења на угљеничне наноматеријале.

Треће поглавље „Раманска спектроскопија“ представља раманску спектроскопију као методу карактеризације угљеничних наноматеријала. Дате су теоријске основе раманске спектроскопије као и специфичности раманске спектроскопије угљеничних наноматеријала.

Четврто поглавље „Циљ истраживања“ приказује проблематику у области истраживања којом се дисертација бави, као и конкретне задатке постављене на почетку истраживања. Представљени су кораци у испитивању раманске спектроскопије као методе карактеризације дефектних угљеничних наноматеријала.

Пето поглавље „Експериментални део“ обухвата експерименталне методе употребљене при синтези танких слојева угљеничних наноматеријала и њиховој модификацији. Описане су методе карактеризације као и апаратуре примењене за карактеризацију.

Шесто поглавље „Резултати и дискусија“ обухвата изложене експерименталне резултате и дискусију њихове релевантности за проблематику дисертације. Анализирани су танки слојеви угљеничних наноматеријала добијени помоћу две методе. Изложена је детаљна анализа спектра добијених раманском спектроскопијом и поређена са резултатима других група и са теоријским прорачунима. Параметри морфологије слојева угљеничних наноматеријала прорачунати на основу раманских спектра поређени су са морфолошким параметрима добијеним микроскопским анализама.

Седмо поглавље „Закључак“ обухвата концизно изложене закључке експеримената урађених у оквиру дисертације и предности раманске спектроскопије као методе за карактеризацију угљеничних наноматеријала.

### **3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ**

#### 3.1. Савременост и оригиналност

Угљенични наноматеријали су у живи научне јавности већ десетак година. Наука о материјалима бави се њиховом синтезом, карактеризацијом и могућим применама у електроници, медицини, индустрији. Одређени угљенични наноматеријали су већ нашли своју сврху (фулерени, угљеничне нанотубе), док се материјали као графен и графенске квантне тачке још испитују и траже се оптимални начини да се њихове изузетне карактеристике максимално искористе. Раманска спектроскопија се показала као специфично погодна за карактеризацију угљеничних наноматеријала, због њене високе осетљивости на постојање свих различитих типова веза које угљеникови атоми могу градити у наноматеријалима. Стога се може закључити да се докторска дисертација под називом „Раманска спектроскопија високодефектних угљеничних наноматеријала“ бави веома актуелном облашћу карактеризације раманском спектроскопијом две веома различите врсте, до сада неанализираних, слојева угљеничних наноматеријала.

#### 3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У дисертацији се позива на велики број актуелних научних радова објављених из области карактеризације угљеничних наноматеријала. Укључено је и неколико књига које су до сада већ установљене као класична литература за основе раманске спектроскопије као и за карактеристике угљеничних наноматеријала. Истичу се бројни радови и књиге групе Милдред Дреселхаус из области раманске спектроскопије угљеничних материјала у распону од четири деценије. Такође, у литератури је цитиран рад групе са Универзитета у Манчестеру (Гејм и Новосјолов), за чије је истраживање о могућим применама графена за транзисторе додељена Нобелова награда за физику 2010. године. Цитиран је и велики број ранијих радова Групе за физику и хемију угљеничних наноматеријала Института за нуклеарне науке „Винча“, у оквиру које је урађено истраживање обухваћено докторском дисертацијом, међу којима су и радови Душке Клеут.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Раманска спектроскопија као основна метода карактеризације коришћена је за анализе танких слојева угљеничних наноматеријала и за праћење дефеката у њиховој структури при различитим методама депоновања слојева. Такође праћене су и промене у спектрима материјала изазваних излагањем гама зрачењу.

Микроскопске методе, микроскопија атомске силе (Atomic Force Microscopy - AFM) и скенирајућа електронска микроскопија (Scanning Electron Microscopy - SEM), дале су увид у морфологију танких слојева угљеничних материјала.

### 3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати приказују могућности раманске спектроскопије за карактеризацију танких слојева високодефектних угљеничних наноматеријала. Изложене су предности раманске спектроскопије и могућности анализирања оваквих узорака на површини или по дубини применом различитих таласних дужина побудног ласера при раманској анализи.

### 3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу анализе научне биографије, објављених радова као и увида у дисертацију, Комисија процењује да је кандидат способан за самосталан научно-истраживачки рад.

## **4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС**

### 4.1. Приказ остварених научних доприноса

У докторској дисертацији Душке Клеут остварени су следећи научни доприноси:

(1) Депоноване су две нове врсте танких слојева угљеничних наноматеријала на стакленим подлогама: гама озрачени графенски слојеви и слојеви добијени карбонизацијом резорцинол-формалдехид криогелова допираних угљеничних наноматеријала;

(2) Изложени су резултати раманске спектроскопске анализе ових материјала помоћу три таласне дужине побудног ласера (532 nm, 633 nm и 780 nm) и представљене предности и мане употребе различитих ласера;

(3) На основу раманских спектра, израчунати су параметри морфологије узорака помоћу формула добијених из референтних теоријских и експерименталних радова и резултати су потврђени микроскопским методама.

### 4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Сагледавањем постављених циљева и добијених резултата, констатујемо да је кандидат успешно одговорио на задате проблеме. Приказане су предности и мане раманске спектроскопије у анализи слојева угљеничних материјала са великим бројем дефеката, што може бити од помоћи у будућим истраживањима ових материјала.

### 4.3. Верификација научних доприноса

Радови који су резултат истраживања у оквиру докторске дисертације:

#### Kategorija M21:

1. **Kleut, D.**, Jovanović, S., Marković, Z., Kepić, D., Tošić, D., Romčević, N., Marinović-Cincović, M., Dramićanin, M., Holclajtner-Antunović, I., Pavlović, V., Dražić, G., Milosavljević, M., Todorović Marković, B.: Comparison of structural properties of pristine and gamma irradiated single-wall carbon nanotubes: Effects of medium and irradiation dose, - *Materials Characterization*, vol. 72, pp. 37-45, 2012 (**IF=1,845**) (ISSN: 1044-5803).

#### Kategorija M22:

1. **Kleut, D.N.**, Marković, Z.M., Babić, B.M., Holclajtner Antunović, I.D., Milosavljević, M.S., Dramićanin, M.D., Todorović Marković, B.M. Raman spectroscopy study of carbon-doped resorcinol-formaldehyde thin films, - *Physica Scripta*, vol. 2013, no. T157, pp. 014039, 2013 (**IF=1,296**) (ISSN: 0031-8949).
2. **Kleut, D.N.**, Marković, Z.M., Antunović, I.D.H., Dramićanin, M.D., Kepić, D.P., Marković, B.M.T.: Gamma ray-assisted irradiation of few-layer graphene films: a Raman spectroscopy study, - *Physica Scripta*, vol. 2014, no. T162, pp. 014025, 2014 (**IF=1,296**) (ISSN: 0031-8949).

#### Kategorija M14:

1. Marković, Z., **Kleut, D.**, Babić, B., Holclajtner Antunović, I., Pavlović, V., Todorović-Marković, B., Carbon-Doped Cryogel Thin Films Derived from Resorcinol Formaldehyde, - *Advanced Carbon Materials and Technology*, eds. A. Tiwari, S.K. Shukla, Scrivener Publishing LLC, pp. 475-486, 2014 (ISBN: 978-1-118-68623-2).

Остали радови проистекли из доктората:

#### Kategorija M21:

1. Markovic, Z., Todorovic-Markovic, B., **Kleut, D.**, Nikolic, N., Vranjes-Djuric, S., Misirkic, M., Vucicevic, L., Janjetovic, K., Isakovic, A., Harhaji, L., Babic-Stojic, B., Dramicanin, M., Trajkovic, V.: The mechanism of cell-damaging reactive oxygen generation by colloidal fullerenes, - *Biomaterials*, vol. 28, no. 36, pp. 5437-5448, 2007 (**IF=9,305**) (ISSN: 0142-9612)
2. Marković, Z., Jovanović, S., **Kleut, D.**, Romčević, N., Jokanović, V., Trajković, V., Todorović-Marković, B.: Comparative study on modification of single wall carbon nanotubes by sodium dodecylbenzene sulfonate and melamine sulfonate superplasticiser, - *Applied Surface Science*, vol. 255, no. 12, pp. 6359-6366, 2009 (**IF=2,735**) (ISSN: 0169-4332)
3. Todorović Marković, B., Jokanović, V., Jovanović, S., **Kleut, D.**, Dramićanin, M., Marković, Z.: Surface chemical modification of fullerene by mechanochemical treatment, - *Applied Surface Science*, vol. 255, no. 17, pp. 7537-7541, 2009 (**IF=2,735**) (ISSN: 0169-4332)
4. Jovanović, S.P., Marković, Z.M., **Kleut, D.N.**, Romević, N.Z., Trajković, V.S., Dramićanin, M.D., Todorović Marković, B.M.: A novel method for the functionalization of  $\gamma$ -irradiated single wall carbon nanotubes with DNA, - *Nanotechnology*, vol. 20, no. 44, 445602, 2009. (**IF=3,821**) (ISSN: 1361-6528)

- Trpkovic, A., Todorovic-Markovic, B., **Kleut, D.**, Misirkic, M., Janjetovic, K., Vucicevic, L., Pantovic, A., Jovanovic, S., Dramicanin, M., Markovic, Z., Trajkovic, V.: Oxidative stress-mediated hemolytic activity of solvent exchange-prepared fullerene (C60) nanoparticles, - *Nanotechnology*, vol. 21, no. 37, 375102, 2010 (**IF=3.821**) (ISSN: 1361-6528)
- Jovanović, S.P., Marković, Z.M., **Kleut, D.N.**, Dramićanin, M.D., Holclajtner-Antunović, I.D., Milosavljević, M.S., La Parola, V., Syrgiannis, Z., Todorović Marković, B.M.: Structural analysis of single wall carbon nanotubes exposed to oxidation and reduction conditions in the course of gamma irradiation, - *Journal of Physical Chemistry C*, vol. 118, no. 29, pp. 16147-16155, 2014 (**IF=4,772**) (ISSN: 1932-7455)

#### Kategorija M22:

- Jovanović, S., Marković, Z., **Kleut, D.**, Romčević, N., Cincović, M.M., Dramićanin, M., Marković, B.T.: Functionalization of single wall carbon nanotubes by hydroxyethyl cellulose, - *Acta Chimica Slovenica*, vol. 56, no. 4, pp. 892-899, 2009 (**IF=0,686**) (ISSN: 1580-3155)
- Kepić, D., Marković, Z., Tošić, D., Antunović, I.H., Adnadjević, B., Prekodravac, J., **Kleut, D.**, Dramićanin, M., Marković, B.T.: Surface modification of single-wall carbon nanotube thin films irradiated by microwaves: a Raman spectroscopy study, - *Physica Scripta*, vol. 2013, no. T157, pp. 014040, 2013 (**IF=1,126**) (ISSN: 1402-4896)
- Kepić, D., Marković, Z., Jovanović, S., Holclajtner Antunović, I., **Kleut, D.**, Todorović Marković, B.: Novel method for graphene functionalization, - *Physica Scripta*, vol. 2014, no. T162, pp. 014024, 2014 (**IF=1,126**) (ISSN: 1402-4896)
- Kleut, D.N.**, Marković, Z.M., Antunović, I.D.H., Dramićanin, M.D., Kepić, D.P., Marković, B.M.T.: Gamma ray-assisted irradiation of few-layer graphene films: a Raman spectroscopy study, - *Physica Scripta*, vol. 2014, no T162, pp. 014025, 2014 (**IF=1,126**) (ISSN: 1402-4896)

#### Kategorija M23:

- Jovanović, S.P., Marković, Z.M., **Kleut, D.N.**, Trajković, V.D., Babić-Stojić, B.S., Dramićanin, M.D., Marković, B.M.T.: Singlet oxygen generation by higher fullerene-based colloids, - *Journal of the Serbian Chemical Society*, vol. 75, no. 7, pp. 965-973, 2010. (**IF=0,871**)(ISSN: 1820-7421)
- Jovanović, S.P., Marković, Z.M., **Kleut, D.N.**, Tošić, D.D., Kepić, D.P., Marinović Cincović, M.T., Holclajtner Antunović, I.D., Todorović Marković, B.M.: Covalent modification of single wall carbon nanotubes upon gamma irradiation in aqueous media, - *Hemijska Industrija*, vol. 65, no. 5, pp. 479-487, 2011 (**IF = 0,319**) (ISSN: 2217-7426)

#### Kategorija M52:

- Kepić D., Jovanović S., Marković Z., **Kleut D.**, Romčević N., Trajković V., Dramićanin M., Todorović Marković B.: Novi metod funkcionalizacije gama ozračenih jednoslojnih ugljeničnih nanotuba sa DNK, - *Tehnika-Novi Materijali*, vol. 18, no. 6, pp. 1-8, 2009 (**IF = 0.0151**) (ISSN: 0354-2300)
- Kleut D.**, Marković Z., Jovanović S., Romčević N., Jokanović V., Trajković V., Todorović Marković B.: Uperedna analiza vodenih disperzija nanotuba modifikovanih primenom surfaktanata na bazin arijuma, - *Tehnika – Novi Materijali*, vol. 18, no. 3, pp. 5-12, 2009 (**IF = 0.0151**) (ISSN: 0354-2300)

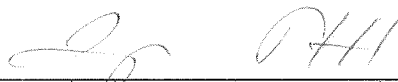
## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Докторска дисертација Душке Клеут представља оригиналан научни допринос и пружа корисне резултате за будућа истраживања и анализе слојева угљеничних наноматеријала. Истраживање угљеничних материјала за употребе у електроници и медицини је и даље у жижи и тек се очекује установљивање многобројних примена ових материјала. Можемо закључити да је тематика докторске дисертације веома актуелна, што се оправдава и великим бројем радова у часописима са SCI листе у којима је кандидаткиња била коаутор. Комисија констатује да је кандидаткиња испунила све услове предвиђене Законом о високом образовању, Статутом и Правилником о докторским студијама Електротехничког факултета Универзитета у Београду.

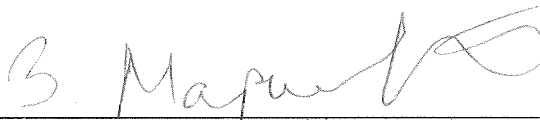
На основу наведеног, Комисија предлаже Наставно-научном већу да се докторска дисертација под називом „Раманска спектроскопија високодефектних угљеничних наноматеријала“ кандидаткиње Душке Клеут прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области техничких наука Универзитета у Београду.

Београд, 18.11.2015.

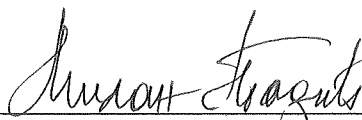
### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ



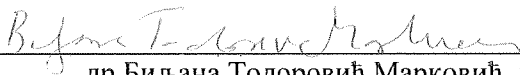
др Дејан Раковић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



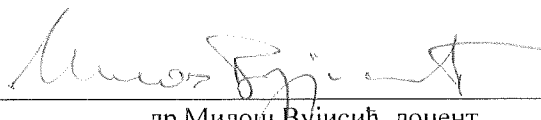
др Зоран Марковић, научни саветник  
Универзитет Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Милан Тадић, редовни професор  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет



др Биљана Тодоровић Марковић, научни саветник  
Универзитет Београду – Институт за нуклеарне науке „Винча“



др Милош Вујић, доцент  
Универзитет у Београду – Електротехнички факултет